

PATENT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In the Application of

Toshiyuki MIYAMOTO, et al.

Serial No.: 10/792,034

Filed: March 04, 2004

For: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

: Customer Number: 20277  
: Confirmation Number: 1384  
: Group Art Unit: 3663  
: Examiner: Not yet assigned

**TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENTS**

Mail Stop Missing Parts  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following applications:

**Japanese Patent Application No. 2003-057575, filed March 4, 2003**

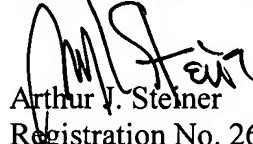
**and**

**Japanese Patent Application No. 2004-05228, filed February 26, 2004.**

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT WILL & EMERY LLP

  
Arthur J. Steiner  
Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:etp  
Facsimile: (202) 756-8087  
**Date: July 20, 2004**



50212-577

10/792,034

March 4, 2004

MIYAMOTO et al.

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

*McDermott Will & Emery LLP*

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日      2003年 3月 4日  
Date of Application:

出願番号      特願2003-057575  
Application Number:

[ST. 10/C] : [JP2003-057575]

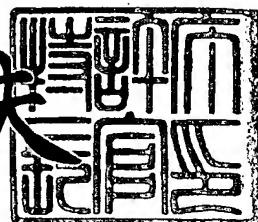
出願人      住友電気工業株式会社  
Applicant(s):

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

2004年 5月 24日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 103Y0079  
【提出日】 平成15年 3月 4日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H04B 1/00  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内  
【氏名】 宮本 敏行  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内  
【氏名】 田中 正人  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内  
【氏名】 奥野 俊明  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内  
【氏名】 小林 潤子  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内  
【氏名】 重松 昌行  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内  
【氏名】 西村 正幸

## 【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 正のチャーブを有する信号光を出力する信号光源と、前記信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、前記信号光源と前記光ファイバ伝送路との間に設けられ、前記信号光の波長において波長分散が負である増幅用光ファイバを含み、この増幅用光ファイバにおいて前記信号光をラマン増幅するラマン増幅器とを備えることを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】 前記増幅用光ファイバにおける前記信号光の位相シフト量 $\Phi_{LRA}$ が、前記光ファイバ伝送路における前記信号光の位相シフト量 $\Phi_T$ の $1/2$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項3】 前記増幅用光ファイバの波長 $1550\text{ nm}$ における非線形屈折率 $n_2$ と実効断面積 $A_{eff}$ との比 $(n_2/A_{eff})$ が $1.7 \times 10^{-9}/\text{W}$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項4】 前記増幅用光ファイバの波長 $1550\text{ nm}$ における伝送損失が $0.7\text{ dB/km}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項5】 前記増幅用光ファイバの波長 $1390\text{ nm}$ 付近におけるOH基に因る伝送損失の増加が $0.5\text{ dB/km}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項6】 前記増幅用光ファイバの前記信号光の波長における波長分散が $-20\text{ ps/nm/km}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項7】 前記信号光の波長間隔が $10\text{ nm}$ 以上であり、前記増幅用光ファイバの前記信号光の波長における波長分散が $-10\text{ ps/nm/km}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、信号光を伝送するとともに該信号光をラマン増幅する光伝送システムに関するものである。

**【0002】****【従来の技術】**

光伝送システムは、光送信器から出力された信号光を光ファイバ伝送路により伝送して、その信号光を光受信器において受信するものであり、大容量の情報を高速に送受信することができる。また、光ファイバ伝送路を信号光が伝搬する間に該信号光が損失を被ることから、信号光を光増幅する為に光増幅器が設けられる。光増幅器のうちのラマン増幅器は、励起光波長を適切に設定することにより、任意の波長の信号光をラマン増幅することができ、光増幅の利得帯域を広くすることができる。

**【0003】**

また、光送信器に含まれる信号光源は、例えば、レーザダイオードを含み、このレーザダイオードを直接変調することで信号光を発生させる。このような直接変調されたレーザダイオードから出力される信号光は、正のチャープを有している。この信号光が有する正のチャープを補償する技術が非特許文献1に記載されている。非特許文献1に記載された技術では、信号光を光ファイバ伝送路に伝送させて、その光ファイバ伝送路における非線形光学現象の一種である自己位相変調に因り、信号光が有する正のチャープを補償する。このように、信号光源から出力される信号光が有する正のチャープを補償することにより、伝送特性の改善が可能となる。

**【0004】****【非特許文献1】**

J. Jeong, et al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 9 (1998)

**【0005】****【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、上記の非特許文献1に記載された技術では、光ファイバ伝送路

における自己位相変調を利用するものであることから、伝送特性を充分には改善することができない。

### 【0006】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、優れた伝送特性で信号光を伝送することができる光伝送システムを提供することを目的とする。

### 【0007】

#### 【課題を解決するための手段】

本発明に係る光伝送システムは、(1) 正のチャーピーを有する信号光を出力する信号光源と、(2) 信号光を伝送する光ファイバ伝送路と、(3) 信号光源と光ファイバ伝送路との間に設けられ、信号光の波長において波長分散が負である増幅用光ファイバを含み、この増幅用光ファイバにおいて信号光をラマン増幅するラマン増幅器とを備えることを特徴とする。この光伝送システムでは、信号光源から出力された信号光は、ラマン増幅器によりラマン増幅された後に、光ファイバ伝送路により伝送される。信号光源から出力された信号光が有する正のチャーピーは、増幅用光ファイバが有する負の波長分散により補償され、また、増幅用光ファイバにおける自己位相変調によっても補償されるので、この光伝送システムは優れた伝送特性で信号光を伝送することができる。

### 【0008】

本発明に係る光伝送システムは、増幅用光ファイバにおける信号光の位相シフト量 $\Phi_{LRA}$ が、光ファイバ伝送路における信号光の位相シフト量 $\Phi_T$ の $1/2$ 以上であるのが好適である。この場合には、増幅用光ファイバにおける自己位相変調に因る信号光の正のチャーピーの補償の効果が大きい。

### 【0009】

本発明に係る光伝送システムは、増幅用光ファイバの波長 $1550\text{ nm}$ における非線形屈折率 $n_2$ と実効断面積 $A_{\text{eff}}$ との比 $(n_2/A_{\text{eff}})$ が $1.7 \times 10^{-9}/\text{W}$ 以上であるのが好適である。この場合にも、増幅用光ファイバにおける自己位相変調に因る信号光の正のチャーピーの補償の効果が大きい。

### 【0010】

本発明に係る光伝送システムは、増幅用光ファイバの波長 $1550\text{ nm}$ における

る伝送損失が $0.7 \text{ dB/km}$ 以下であるのが好適である。この場合には、信号光波長における伝送損失が小さいことから、ラマン増幅を高効率に行なうことができる。

#### 【0011】

本発明に係る光伝送システムは、増幅用光ファイバの波長 $1390 \text{ nm}$ 付近におけるOH基に因る伝送損失の増加が $0.5 \text{ dB/km}$ 以下であるのが好適である。この場合には、励起光波長における伝送損失が小さいことから、ラマン増幅を高効率に行なうことができる。

#### 【0012】

本発明に係る光伝送システムは、増幅用光ファイバの信号光の波長における波長分散が $-20 \text{ ps/nm/km}$ 以下であるのが好適である。この場合には、増幅用光ファイバが有する負の波長分散に因る信号光の正のチャープの補償の効果が大きい。

#### 【0013】

本発明に係る光伝送システムは、信号光の波長間隔が $10 \text{ nm}$ 以上であり、増幅用光ファイバの信号光の波長における波長分散が $-10 \text{ ps/nm/km}$ 以下であるのが好適である。この場合には、非線形光学現象の一種である四光波混合法や相互位相変調の発生が抑制され、伝送特性が優れたものとなる。

#### 【0014】

##### 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

#### 【0015】

図1は、本実施形態に係る光伝送システム1の構成図である。この図に示される光伝送システム1は、信号光源10、ラマン増幅器20、光ファイバ伝送路30および光受信器40を備える。信号光源10は、レーザダイオードを含み、このレーザダイオードを直接変調することで、正のチャープを有する信号光を出力する。ラマン増幅器20は、信号光源10から出力された信号光を入力して、この信号光をラマン増幅して出力する。光ファイバ伝送路30は、ラマン増幅器2

0から出力された信号光を光受信器40へ伝送する。また、光受信器40は、光ファイバ伝送路30により伝送されて到達した信号光を受信する。

#### 【0016】

図2は、本実施形態に係る光伝送システム1に含まれるラマン増幅器20の構成図である。この図に示されるラマン増幅器20は、光入射端101に入力した信号光をラマン増幅し、そのラマン増幅した信号光を光出射端102から出力する。ラマン増幅器20は、光入射端101から光出射端102へ至る信号光伝搬経路上に、光カプラ111、光アイソレータ121、増幅用光ファイバ130、光カプラ112、光アイソレータ122および光カプラ113を順に備える。また、このラマン増幅器20は、光カプラ111に接続されたフォトダイオード141、光カプラ113に接続されたフォトダイオード143aおよび143b、光カプラ112に接続された光合波器150、光合波器150に接続されたレーザダイオード152aおよび152b、ならびに、ラマン増幅器20の光増幅動作を制御する制御部160をも備える。

#### 【0017】

光カプラ111は、光入射端101に入力した信号光の一部を分岐してフォトダイオード141へ出力し、残部を光アイソレータ121へ出力する。フォトダイオード141は、光カプラ111から到達した信号光を受光して、入力信号光パワーに応じた電気信号を出力し、その電気信号を制御部160へ出力する。

#### 【0018】

光カプラ113は、光アイソレータ122から到達した信号光の一部を分岐してフォトダイオード143aへ出力し、残部を光出射端102へ出力する。フォトダイオード143aは、光カプラ113から到達した信号光を受光して、出力信号光パワーに応じた電気信号を出力し、その電気信号を制御部160へ出力する。

#### 【0019】

また、光カプラ113は、光出射端102から到達した光の一部を分岐してフォトダイオード143bへ出力し、残部を光アイソレータ122へ出力する。フォトダイオード143bは、光カプラ113から到達した光を受光して、その光

パワーに応じた電気信号を出力し、その電気信号を制御部160へ出力する。

#### 【0020】

光カプラ112は、光合波器150から出力された励起光を入力して、この励起光を增幅用光ファイバ130に供給する。また、光カプラ112は、增幅用光ファイバ130から出力された信号光を入力して、この信号光を光アイソレータ122へ出力する。

#### 【0021】

光アイソレータ121, 122は、光入射端101から光出射端102へ向かう順方向に光を通過させるが、逆方向には光を通過させない。

#### 【0022】

レーザダイオード152a, 152bそれぞれはラマン増幅用の励起光を出力するものであり、各々の励起光波長は互いに異なる。レーザダイオード152a, 152bそれぞれは、ファイバグレーティングとともに用いられて外部共振器を構成しているのが好適であり、この場合には、安定した波長で励起光を出力することができる。また、同一波長の励起光を出力する2つのレーザダイオードを用い、これら2つのレーザダイオードそれから出力された励起光を偏波合成して出力するのが好適であり、この場合には、励起光パワーを大きくすることができます。光合波器150は、レーザダイオード152a, 152bそれから出力された励起光を合波し、その合波した励起光を光カプラ112へ出力する。

#### 【0023】

制御部160は、フォトダイオード141, 143aおよび143bそれぞれから出力された電気信号を入力して、これらの電気信号に基づいて、レーザダイオード152aおよび152bそれからの励起光の出力を制御する。

#### 【0024】

增幅用光ファイバ130は、光カプラ112から励起光が供給されるとともに、光アイソレータ121から出力された信号光を入力して、この信号光をラマン増幅し、そのラマン増幅した信号光を光カプラ112へ出力する。この増幅用光ファイバ130は、信号光源10と光ファイバ伝送路30との間に設けられていて、信号光の波長において波長分散が負である。

### 【0025】

このラマン増幅器20は以下のように動作する。レーザダイオード152a, 152bから出力された励起光は、光合波器150により合波され、光カプラ112を経て、増幅用光ファイバ130へ後方より供給される。光入射端101に入力した信号光は、光カプラ111および光アイソレータ121を経て増幅用光ファイバ130に入力し、この増幅用光ファイバ130においてラマン増幅される。このラマン増幅された信号光は、光カプラ112、光アイソレータ122および光カプラ113を経て、光出射端102から出力される。

### 【0026】

光入射端101に入力した信号光の一部は、光カプラ111により分岐されてフォトダイオード141に入力し、このフォトダイオード141により受光されて、その受光量に応じた電気信号がフォトダイオード141から出力される。光出射端102から出力される信号光の一部は、光カプラ113により分岐されてフォトダイオード143aに入力し、このフォトダイオード143aにより受光されて、その受光量に応じた電気信号がフォトダイオード143aから出力される。光出射端102から光アイソレータ122へ向かう光は、光カプラ113により分岐されてフォトダイオード143bに入力し、このフォトダイオード143bにより受光されて、その受光量に応じた電気信号がフォトダイオード143bから出力される。

### 【0027】

制御部160では、フォトダイオード141から出力された電気信号に基づいて入力信号光パワーがモニタされ、フォトダイオード143aから出力された電気信号に基づいて出力信号光パワーがモニタされ、フォトダイオード143bから出力された電気信号に基づいて戻り光パワーがモニタされる。この戻り光パワーは、光出射端102が接続状態および開放状態の何れにあるかを表している。そして、制御部160による制御により、入力信号光パワーが或る閾値以下である場合、または、戻り光パワーが或る閾値以上である場合に、レーザダイオード152a, 152bは、励起光の出力パワーが低減され、或いは、励起光の出力が停止される。また、出力信号光パワーと入力信号光パワーとの比に基づいて、

ラマン増幅の利得が所望値となるように、レーザダイオード 152a, 152b は励起光の出力パワーが調整される。

#### 【0028】

そして、図1に示される光伝送システム1全体では、信号光源10から出力された信号光は、ラマン増幅器20によりラマン増幅された後に、光ファイバ伝送路30を伝搬して光受信器40に到達し、この光受信器40により受信される。

#### 【0029】

特に、本実施形態では、信号光源10から出力された信号光は正のチャーブを有しており、一方、ラマン増幅器20に含まれる増幅用光ファイバ130の波長分散は信号光波長において負である。また、増幅用光ファイバ130は、非線形光学現象の一種である誘導ラマン散乱を利用して信号光をラマン増幅するものであるから、非線形性が大きく、自己位相変調も発生し易い。したがって、信号光源10から出力された信号光が有する正のチャーブは、増幅用光ファイバ130が有する負の波長分散により補償され、また、増幅用光ファイバ130における自己位相変調によっても補償される。それ故、本実施形態に係る光伝送システム1は、伝送特性が優れたものとなる。

#### 【0030】

なお、増幅用光ファイバ130は以下の要件を満たすものであるのが更に好適である。増幅用光ファイバ130における信号光の位相シフト量 $\Phi_{LRA}$ は、光ファイバ伝送路30における信号光の位相シフト量 $\Phi_T$ の1/2以上であるのが好適である。この場合には、増幅用光ファイバ130における自己位相変調に因る信号光の正のチャーブの補償の効果が大きい。

#### 【0031】

ここで、位相シフト量 $\Phi$ は、

#### 【0032】

## 【数1】

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^L \frac{n_2(z)}{A_{\text{eff}}(z)} P_{\text{signal}}(z) dz \quad \cdots (1)$$

なる式で表される。この式において、 $z$ は、光ファイバ（長さ $L$ ）の長手方向に沿った位置を表す変数であり、 $n_2(z)$ は、位置 $z$ における光ファイバの非線形屈折率であり、 $A_{\text{eff}}(z)$ は、位置 $z$ における光ファイバの実効断面積であり、 $P_{\text{signal}}(z)$ は、位置 $z$ における光ファイバ中の信号光パワーである。

## 【0033】

また、增幅用光ファイバ130の波長1550nmにおける非線形屈折率 $n_2$ と実効断面積 $A_{\text{eff}}$ との比（ $n_2/A_{\text{eff}}$ ）は、大きいほど好ましく、 $1.7 \times 10^{-9}/W$ 以上であるのが好適であり、 $3.0 \times 10^{-9}/W$ 以上であれば更に好適である。また、非線形屈折率 $n_2$ は、 $3.5 \times 10^{-20} m^2/W$ 以上であるのが好適であり、 $4.5 \times 10^{-20} m^2/W$ 以上であれば更に好適である。実効断面積 $A_{\text{eff}}$ は、 $30 \mu m^2$ 以下であるのが好適であり、 $15 \mu m^2$ 以下であれば更に好適である。このような場合には、增幅用光ファイバ130の非線形性が大きく、增幅用光ファイバ130における自己位相変調に因る信号光の正のチャープの補償の効果が大きい。

## 【0034】

また、增幅用光ファイバ130の波長1550nmにおける伝送損失は $0.7 dB/km$ 以下であるのが好適である。また、增幅用光ファイバ130の波長1390nm付近におけるOH基に因る伝送損失の増加は $0.5 dB/km$ 以下である。これらの場合には、信号光波長および励起光波長の双方において增幅用光ファイバ130の伝送損失が小さいことから、ラマン増幅を高効率に行なうことができる。

## 【0035】

また、增幅用光ファイバ130の信号光の波長における波長分散は、 $-20 p$

$s/nm/km$  以下であるのが好適であり、 $-60ps/nm/km$  以下であれば更に好適である。この場合には、増幅用光ファイバ130が有する負の波長分散に因る信号光の正のチャープの補償の効果が大きい。また、増幅用光ファイバ130は、光ファイバ伝送路30が有する正の波長分散を効率的に補償することができる。

#### 【0036】

また、信号光の波長間隔は $10nm$ 以上であり、増幅用光ファイバ130の信号光の波長における波長分散は $-10ps/nm/km$  以下である。この場合には、非線形光学現象の一種である四光波混合や相互位相変調の発生が抑制され、伝送特性が優れたものとなる。

#### 【0037】

また、増幅用光ファイバ130と他の光ファイバとの間の接続損失は $0.5dB$  以下であるのが好適であり、この場合には、ラマン増幅の効率が優れる。

#### 【0038】

また、ラマン増幅器20内における位相シフト量 $\Phi_{LRA}$ が大きいほど、信号光の伝送特性を改善することができる。ただし、ラマン増幅器20の内部および光ファイバ伝送路30の入射端において誘導ブリルアン散乱が発生しない程度に、ラマン増幅器20における光増幅の利得が設定されるのが好適である。

#### 【0039】

図3は、本実施形態に係る光伝送システム1の効果を確認する為の実験系を示す図である。図4は、本実施形態に係る光伝送システム1の効果を確認する為の実験系を用いた実験結果を示すグラフである。図3に示された実験系では、図1に示された光伝送システム1において、光ファイバ伝送路30と光受信器40との間に可変光アッテネータ50および光フィルタ60を挿入した。信号光源10から出力される信号光は、ビットレートを $2.5Gbps$  とし、波長を $1550nm$  とした。ラマン増幅器20に替えて $E_r$ 元素添加光ファイバ増幅器を用いた場合についても評価した。ラマン増幅器20（または $E_r$ 元素添加光ファイバ増幅器）から出力される信号光パワーを $10dBm$  とした。光ファイバ伝送路30は、波長 $1.3\mu m$  付近に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイ

バ (S MF) とし、長さを 0 km, 40 km, 60 km, 80 km および 100 km それぞれとした。図 4 に示されるように、ラマン増幅器 (LRA) および Er 元素添加光ファイバ増幅器 (EDFA) の何れの場合にも、光ファイバ伝送路 30 が長いほど、パワーペナルティは悪い。しかし、Er 元素添加光ファイバ増幅器 (EDFA) の何れの場合と比較すると、増幅用光ファイバにおいて自己位相変調が発生し易いラマン増幅器 (LRA) の場合の方が、パワーペナルティは優れている。

#### 【0040】

図 5 は、本実施形態に係る光伝送システム 1 における信号光伝送経路上の信号光パワー  $P_{signal}$  の分布を示す図である。図 6 は、本実施形態に係る光伝送システム 1 に含まれる増幅用光ファイバ 130 および光ファイバ伝送路 30 それぞれの諸元を纏めた図表である。増幅用光ファイバ 130 は、非線形屈折率  $n_2$  を  $5.3 \text{ m}^2/\text{W}$  とし、波長 1550 nm における実効断面積  $A_{eff}$  を  $9 \mu\text{m}^2$  とし、長さを 3 km とし、波長 1550 nm における伝送損失を  $0.53 \text{ dB/km}$  とした。光ファイバ伝送路 30 は、非線形屈折率  $n_2$  を  $2.9 \text{ m}^2/\text{W}$  とし、波長 1550 nm における実効断面積  $A_{eff}$  を  $85 \mu\text{m}^2$  とし、長さを 100 km とし、波長 1550 nm における伝送損失を  $0.2 \text{ dB/km}$  とした。信号光源 10 から出力される信号光のパワーを  $0 \text{ dBm}$  とし、ラマン増幅器 20 から出力される信号光のパワーを  $10 \text{ dBm}$  とした。このとき、増幅用光ファイバ 130 における信号光の位相シフト量  $\Phi_{LRA}$  は  $0.23 \text{ rad}$  であり、光ファイバ伝送路 30 における信号光の位相シフト量  $\Phi_T$  は  $0.30 \text{ rad}$  であった。このように、増幅用光ファイバ 130 における信号光の位相シフト量  $\Phi_{LRA}$  は、光ファイバ伝送路 30 における信号光の位相シフト量  $\Phi_T$  の  $1/2$  以上であった。

#### 【0041】

図 7 は、本実施形態に係る光伝送システム 1 に含まれるラマン増幅器 20 における入力光スペクトルおよび出力光スペクトルを示す図である。図 8 は、波長 1551 nm の信号光の伝送特性を示す図である。ここでは、4 波長の信号光をビットレート  $2.5 \text{ Gbps}$  で伝送するものとし、各波長を 1511 nm, 1531 nm, 1551 nm および 1571 nm とした。図 8 では、信号光源 10 から

出力された直後の信号光 (Back to back) 、ラマン増幅器を経ること無く長さ 100 km の光ファイバ伝送路 30 を伝搬した後の信号光 (SMF 100km without FRA) 、ラマン増幅器 20 から出力された直後の信号光 (Output of FRA) 、ラマン増幅器 20 を経た後に長さ 100 km の光ファイバ伝送路 30 を伝搬した後の信号光 (SMF 100km with FRA) 、および、ラマン増幅器 20 を経た後に長さ 150 km の光ファイバ伝送路 30 を伝搬した後の信号光 (SMF 150km with FRA) それについて、受光パワーとビットレートとの関係が示されている。この図から判るように、増幅用光ファイバ 130 の波長分散が負であれば、伝送特性が改善される。ラマン増幅器 20 に含まれる増幅用光ファイバ 130 における自己位相変調の効果に因り、ラマン増幅器を設けない場合と比較して、伝送特性が改善されるだけでなく、ロスバジェットも拡大される。また、四光波混合や相互位相変調の影響は見られない。

#### 【0042】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、上記実施形態では増幅用光ファイバの後方から励起光を供給する後方向励起であったが、増幅用光ファイバの前方から励起光を供給する前方向励起であってもよいし、また、双方向励起であってもよい。

#### 【0043】

##### 【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、信号光源から出力された信号光が有する正のチャープは、増幅用光ファイバが有する負の波長分散により補償され、また、増幅用光ファイバにおける自己位相変調によっても補償されるので、この光伝送システムは優れた伝送特性で信号光を伝送することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

###### 【図 1】

本実施形態に係る光伝送システム 1 の構成図である。

###### 【図 2】

本実施形態に係る光伝送システム 1 に含まれるラマン増幅器 20 の構成図である。

**【図3】**

本実施形態に係る光伝送システム1の効果を確認する為の実験系を示す図である。

**【図4】**

本実施形態に係る光伝送システム1の効果を確認する為の実験系を用いた実験結果を示すグラフである。

**【図5】**

本実施形態に係る光伝送システム1における信号光伝送経路上の信号光パワーP<sub>signal</sub>の分布を示す図である。

**【図6】**

本実施形態に係る光伝送システム1に含まれる増幅用光ファイバ130および光ファイバ伝送路30それぞれの諸元を纏めた図表である。

**【図7】**

本実施形態に係る光伝送システム1に含まれるラマン増幅器20における入光スペクトルおよび出光スペクトルを示す図である。

**【図8】**

波長1551nmの信号光の伝送特性を示す図である。

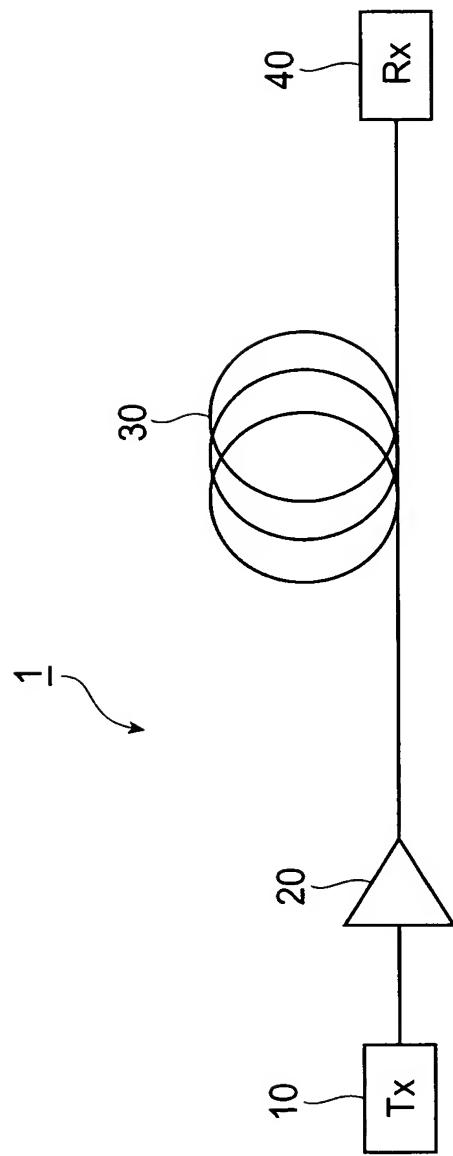
**【符号の説明】**

1…光伝送システム、10…信号光源、20…ラマン増幅器、30…光ファイバ伝送路、40…光受信器、101…光入射端、102…光出射端、111～113…光カプラ、121, 122…光アイソレータ、130…増幅用光ファイバ、141, 143a, 143b…フォトダイオード、150…光合波器、152a, 152b…レーザダイオード、160…制御部。

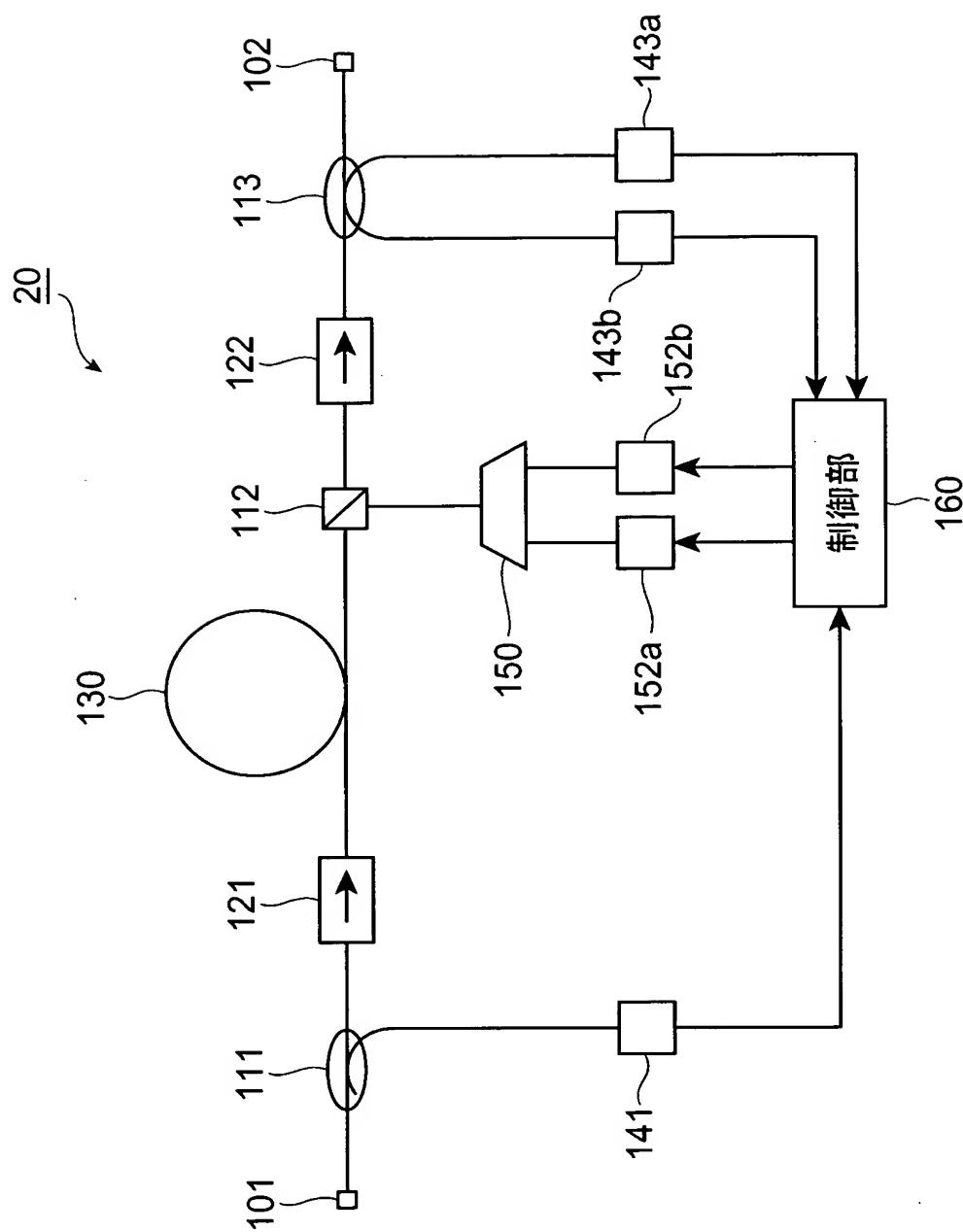
【書類名】

図面

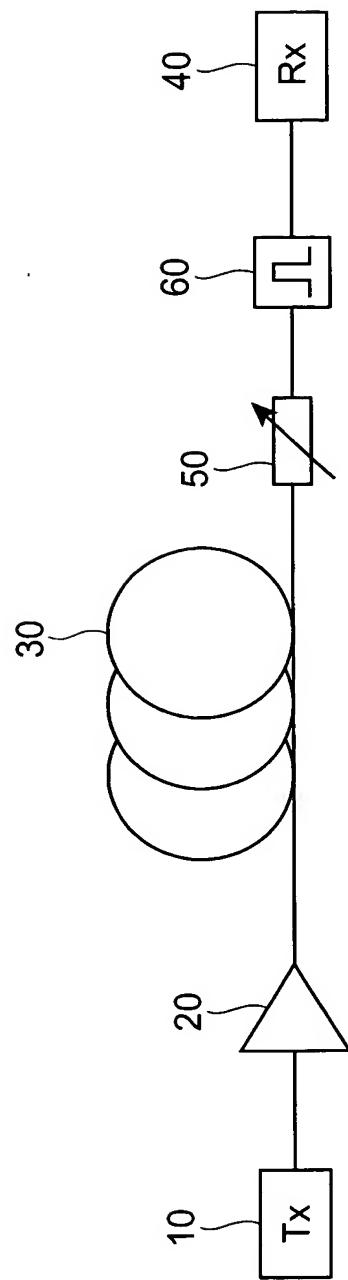
【図1】



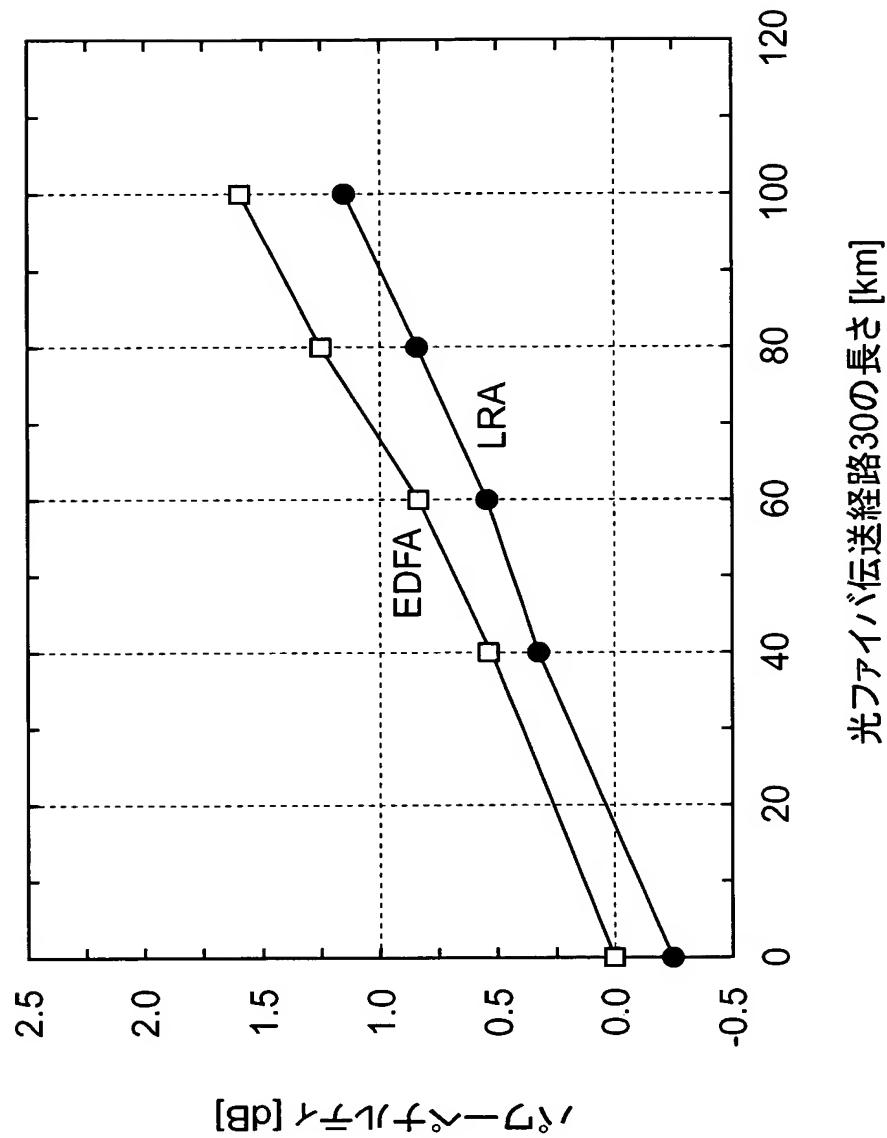
【図2】



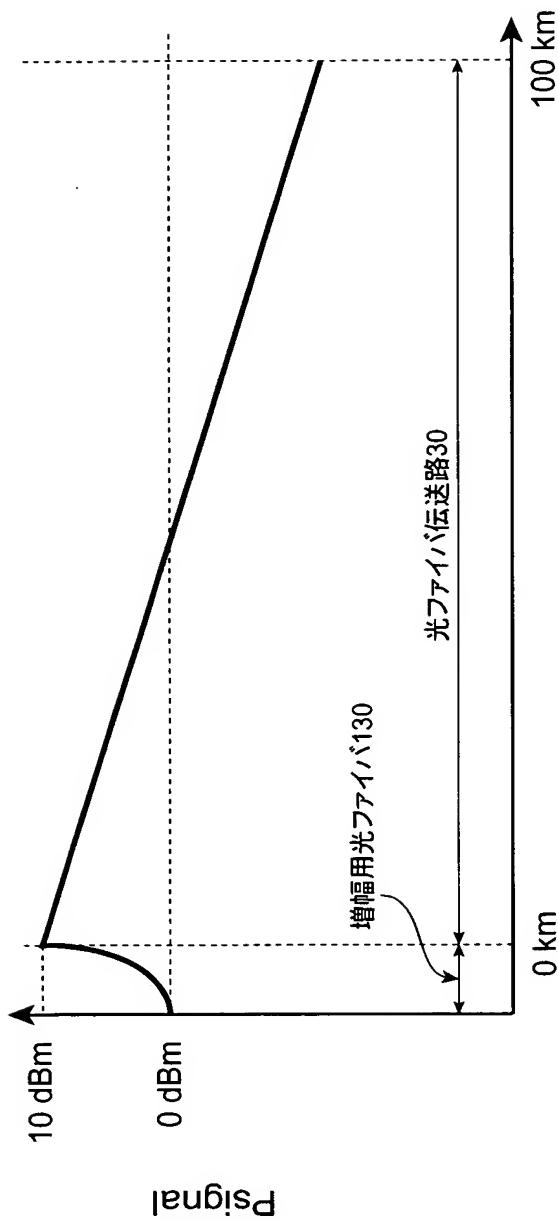
【図3】



【図4】



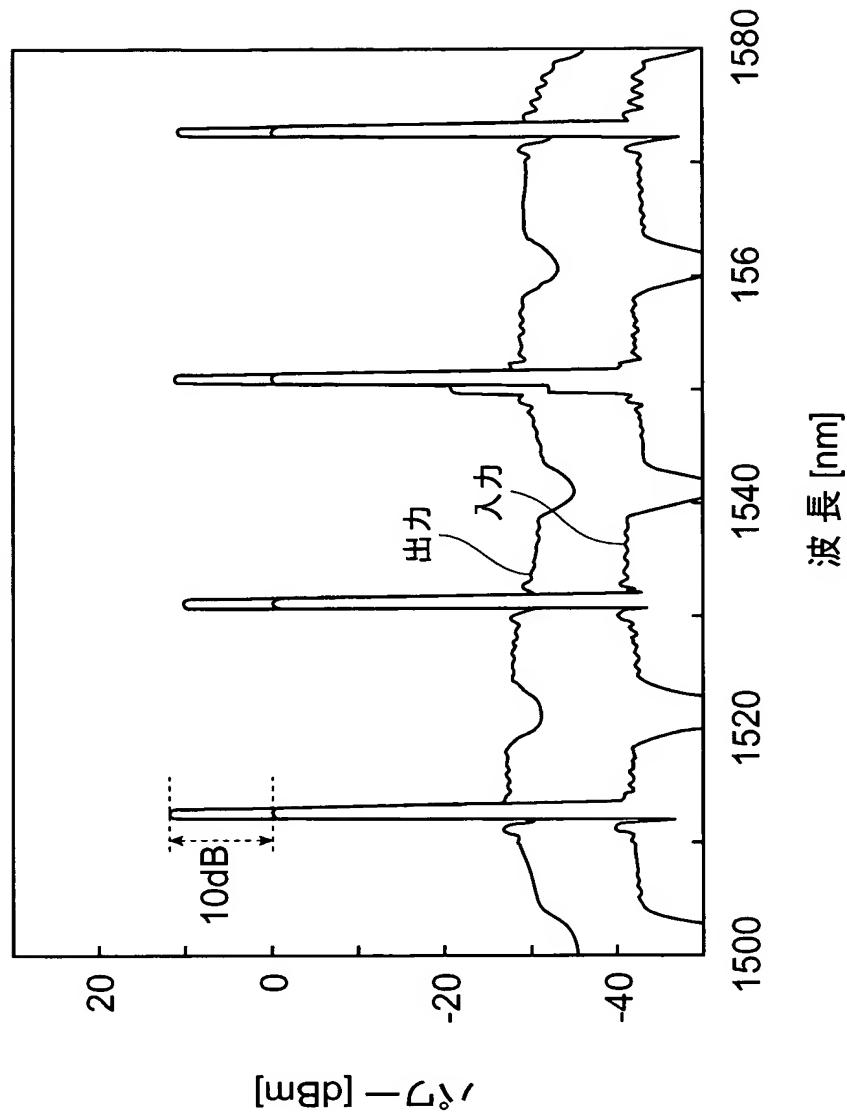
【図5】



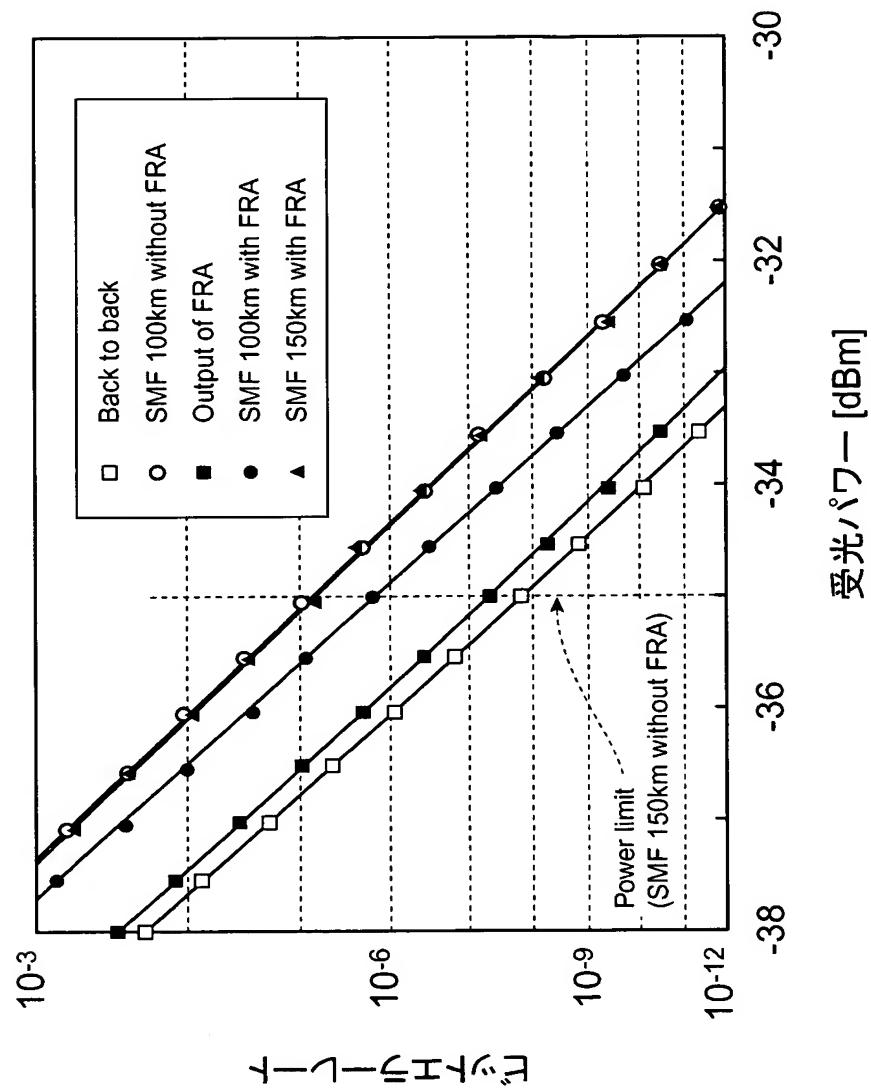
【図6】

	ラマン増幅用ファイ、 $\lambda=130$	伝送路ファイ、 $\lambda=30$
非線形屈折率 $n_1 [m^2/W]$	5.3	2.9
実効断面積 $A_{eff} [\mu m^2]$	9	85
ファイバ長 [km]	3	100
伝送損失 [dB/km]	0.53	0.2
位相シフト量 $\Phi [rad]$	0.23	0.30

【図7】



【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 優れた伝送特性で信号光を伝送することができる光伝送システムを提供する。

【解決手段】 信号光源10から出力された信号光は、正のチャープを有しており、ラマン増幅器20によりラマン増幅された後に、光ファイバ伝送路30を伝搬して光受信器40に到達し、この光受信器40により受信される。ラマン増幅器20に含まれる増幅用光ファイバは、信号光波長において負の波長分散を有する。

【選択図】 図1

特願 2003-057575

出願人履歴情報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
氏名 住友電気工業株式会社